

A New Approach to Supplier Selection: Interval Ranking of DEA whit Double Frontiers

Felloora Valizadeh Palang Sarae*¹

¹Ph.D. Candidate of Industrial Management, Rash Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.

Citation:

Valizadeh Palng Sarae, F. (2020). A new approach to supplier selection: interval ranking of dea whit double frontiers. *Innovation management of operational strategies*, 1(1), 17-37.

Received:19/12/2019	Reviewed:19/02/2020	Revised:13/03/2020	Accept:06/04/2020
---------------------	---------------------	--------------------	-------------------

Abstract

Purpose: Choosing a set of suppliers is critical to the success of organizations. In recent years, much attention has been paid to the importance of selecting suppliers. Effective selection and evaluation of suppliers is an important responsibility that should always be considered by purchasing managers. The criticality of supplier selection is due to the effects it has on elements related to the end products of organizations. Suppliers are a vital part of an organization that can have a huge impact on an organization's performance.

Methodology: In this study, a data set containing the specifications of 18 suppliers. First, the performance of suppliers is calculated from both optimistic and pessimistic perspectives in the presence of undesirable outputs and inaccurate data, and the interval ranking method is used to identify the supplier with the best performance.

Findings: The results showed that the traditional DEA method measures only the best relative efficiency of a group of decision-making units while avoiding pessimistic performance. In order to make the best use of DEA and avoid complex mental calculations, the DEA method for dual boundaries was used.

Originality/Value: This paper uses interval ranking and data envelopment analysis with dual boundaries in the presence of undesirable outputs and inaccurate data. In this paper, it is suggested that the calculation of overall efficiency and ranking of suppliers in the model proposed by Azizi et al. (2016) integrate both performance in the form of an interval and the overall efficiency and ranking of units based on Hosseinzadeh et al. (2018) ranking method.

Keywords: Supplier selection, data envelopment analysis, dual boundaries, interval ranking.

JEL Classificaton: C6, C60, C61.

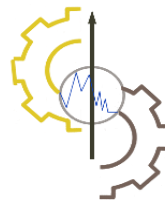
* Corresponding Author

Email Address: flooravalizadeh@gmail.com



<http://dori.net/dor/20.1001.1.27831345.1399.1.1.2.1>

<https://doi.org/10.22105/imos.2020.262623.1016>



یک رویکرد جدید برای انتخاب تأمین کننده: رتبه‌بندی بازه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها با مرزهای دوگانه

فلورا ولی‌زاده پلنگ‌سرائی^{*۱}

دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی-تولید، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رشت، رشت، ایران.

دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۸	بررسی: ۱۳۹۸/۱۱/۳۰	اصلاح: ۱۳۹۸/۱۲/۲۳	پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۱۸
--------------------	-------------------	-------------------	-------------------

چکیده

هدف: انتخاب مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان امری حیاتی برای موفقیت سازمان‌ها است. در سال‌های اخیر توجه و تأکید زیادی بر اهمیت انتخاب تأمین‌کنندگان شده است. انتخاب و ارزیابی مؤثر تأمین‌کنندگان مسئولیت مهمی است که باید همواره مدنظر مدیران خرید قرار گیرد. حیاتی بودن امر انتخاب تأمین‌کنندگان به واسطه اثراتی است که بر عناصر مربوط به محصولات نهایی سازمان‌ها می‌گذارد. تأمین‌کنندگان جزء حیاتی یک سازمان می‌باشند که می‌توانند اثرات زیادی بر عملکرد سازمان داشته باشند.

روش‌شناسی پژوهش: در این پژوهش مجموعه داده‌ها که حاوی مشخصات ۱۸ تأمین‌کننده باشد. نخست از دو دیدگاه خوش‌بینانه و بدبینانه در حضور خروجی‌های نامطلوب و داده‌های نادقیق کارایی‌های تأمین‌کنندگان محاسبه می‌شود و برای شناسایی تأمین‌کننده دارای بهترین عملکرد، روش رتبه‌بندی بازه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد با توجه به اینکه روش DEA سنتی تنها بهترین کارایی نسبی گروهی از واحدهای تصمیم‌گیری را ضمن اجتناب از کارایی‌های بدبینانه اندازه‌گیری می‌کند. برای آن که از DEA بهترین بهره گرفته شود و از محاسبات ذهنی و پیچیده اجتناب شود از روش DEA برای مرزهای دوگانه استفاده شد.

اصالت/ارزش افزوده علمی: این مقاله با استفاده از رتبه‌بندی بازه‌ای و با بهره از تحلیل پوششی داده‌ها با مرزهای دوگانه در حضور خروجی‌های نامطلوب و داده‌های نادقیق است. در این مقاله پیشنهاد می‌شود که محاسبه کارایی کلی و رتبه‌بندی تأمین‌کننده‌ها در مدل پیشنهادشده توسط عزیزی و همکاران (۲۰۱۶) هر دو کارایی را در قالب یک بازه باهم ادغام و کارایی کلی و رتبه‌بندی واحدها بر اساس روش رتبه‌بندی بازه‌ای حسین‌زاده و همکاران (۲۰۱۸) انجام شود.

کلیدواژه‌ها: انتخاب تأمین‌کننده، تحلیل پوششی داده‌ها، مرزهای دوگانه، رتبه‌بندی بازه‌ای.

طبقه‌بندی JEL: C60، C61، C6.

* نویسنده مسئول

آدرس رایانامه: flooravalizadeh@gmail.com

http://dorl.net/dor/20.1001.1.27831345.1399.1.1.2.1

https://doi.org/10.22105/imos.2020.262623.1016

امروزه در شرایط جدید رقابتی، انتخاب بهترین تأمین کننده برای شرکت هایی که مایل به افزایش کیفیت و کاهش هزینه ها می باشند بسیار با اهمیت می باشد. شرکت ها و سازمان ها نیازمند روش های نظام یافته جهت مدیریت سیستمی فرایندهایشان می باشند. مدیریت زنجیره تأمین در دهه نود به عنوان یک رویکرد سیستمی جهت کمک به مدیران تجاری پیشنهاد گردید که مورد استقبال فراوانی قرار گرفت. در مباحث مرتبط با مدیریت زنجیره تأمین، بحث خرید و منبع یابی بویژه مسئله ارزیابی و انتخاب تأمین کنندگان، جنبه بالقوه ای جهت افزایش کارایی در سازمان ها می باشد (جوادنیا و غلام ابری^۱، ۲۰۱۳).

انتخاب مجموعه ای از تأمین کنندگان امری حیاتی برای موفقیت سازمان هاست. در سال های اخیر توجه و تأکید زیادی بر اهمیت انتخاب تأمین کنندگان شده است. انتخاب و ارزیابی موثر تأمین کنندگان مسئولیت مهمی است که باید همواره مد نظر مدیران خرید قرار گیرد. حیاتی بودن امر انتخاب تأمین کنندگان به واسطه اثراتی است که بر عناصر مربوط به محصولات نهایی سازمان ها می گذارد. عناصری چون قیمت، طراحی، قابلیت تولید، کیفیت و غیره (ناراسیمان و همکاران^۲، ۲۰۰۱). لویییس معتقد است که هیچ کدام از مسئولیت های مرتبط با امر خرید به اندازه انتخاب یک منبع مناسب مهم نیست. اینگلدن و لیدرز هم نظری مشابه با او دارند. آنان نیز معتقدند که انتخاب تأمین کنندگان مهم ترین مسئولیت در امر خرید محسوب می شود. بعدها، وبر و همکاران این گونه بیان نمودند که در محیط رقابتی امروز دستیابی به موفقیت در تولید محصولات با هزینه پایین و کیفیت بالا، بدون توجه به رضایت مندی فروشندگان غیر ممکن است؛ بنابراین یکی از مهم ترین تصمیمات خرید، انتخاب و حفظ گروه کاملی از تأمین کنندگان می باشد. البته اخیراً مفهوم دیگری به نام مدیریت زنجیره تأمین به وجود آمده است. این موجب شده که محققان و حقوقدانان بیش از پیش دریابند که مدیریت انتخاب تأمین کنندگان، عاملی است که منجر به افزایش رقابت در کل زنجیره تأمین می گردد (لی و همکاران^۳، ۲۰۰۱).

انتخاب تأمین کننده فرآیندی است که بر اساس آن، تأمین کنندگان مرور، ارزیابی و انتخاب می شوند تا تبدیل به بخشی از زنجیره تأمین شرکت شوند. شاین و همکاران اظهار می دارند که چندین عامل مهم باعث کاهش تعداد تأمین کنندگان شده است (شاین و همکاران^۴، ۲۰۰۰). اولاً منابع متعدد مانع از آن می شود که تأمین کنندگان از صرفه جویی مقیاس و بر اساس حجم سفارش و اثر منحنی یادگیری بهرمند شوند. ثانیاً، سیستم دارای تأمین کنندگان متعدد ممکن است نسبت به سیستم با تعداد تأمین کنندگان کمتر پیر هزینه تر باشد. ثالثاً، کاهش تعداد تأمین کنندگان به حذف عدم اطمینان در بین خریداران و تأمین کنندگان به علت فقدان ارتباط کمک می کند. رابعاً رقابت جهانی بنگاه ها را وادار می کند که بهترین تأمین کنندگان را در دنیا شناسایی کنند.

¹ Javadnia and Gholam-abri

² Narasimhan et al.

³ Lee et al.

⁴ Shin et al.

یکی از روش‌های مشهور برای ارزیابی و انتخاب زنجیره‌های تامین، تحلیل پوششی داده‌ها است (آزادی و همکاران^۱، ۲۰۱۵). تحلیل پوششی داده‌ها یک روش ناپارامتریک است که به بررسی و ارزیابی کارایی واحدهای مشابه می‌پردازد. این واحدهای مشابه تحت عنوان واحدهای تصمیم‌گیرنده (DMU) یاد می‌شوند و ورودی‌های چندگانه را به خروجی‌های چندگانه تبدیل می‌کند. در DEA، با استفاده از مجموعه‌ای از مشاهدات یک تابع تولید از روی داده‌های مشاهده شده ساخته می‌شود. این روش یک تابع مرزی بدست می‌دهد که تمام داده‌ها را شامل می‌شود، به همین دلیل آن را تحلیل پوششی داده می‌نامند از طرف دیگر، چون روش DEA مبتنی بر مجموعه‌ای از مسائل بهینه‌سازی است. در این مسائل هیچگونه پارامتری جهت تخمین وجود ندارد، لذا این روش یک روش ناپارامتریک است (چارلز و همکاران^۲، ۱۹۷۸). در نتیجه می‌توان تحلیل پوششی داده‌ها را به طور گسترده‌ای برای مشکلات انتخاب تامین‌کننده به کار برد.

برای آن که از DEA بهترین بهره گرفته شود و از محاسبات ذهنی و پیچیده اجتناب شود. عزیزی^۳ (۲۰۱۱) روش DEA جدیدی که DEA با مرزهای دوگانه نامیده می‌شود برای انتخاب تامین‌کننده معرفی شد. تحلیل پوششی داده‌ها با مرزهای دوگانه دو نوع نمره کارایی برای واحدها (DMU_s) تعیین می‌کند. در نمره کارایی خوش بینانه، نمره کارایی واحدها با مرز کارایی سنجیده می‌شود. در نمره کارایی بدبینانه، نمره کارایی واحدها با مرز ناکارایی سنجیده می‌شود. اندازه عملکرد کلی به وسیله دو کارایی نه فقط بزرگی دو کارایی بلکه راستای آن‌ها را نیز در نظر می‌گیرد (وانگ و چین^۴، ۲۰۰۹). همچنین در مدل‌های کلاسیک DEA فرض می‌شود که همه خروجی‌ها خوب هستند. در حالی که خروجی‌ها ممکن بد باشند. به عنوان مثال آلودگی‌ها خروجی‌های نامطلوب هستند (فرضی پور صائن^۵، ۲۰۱۰). عزیزی و همکاران (۲۰۱۶) مدلی را ارائه کردند که از توانایی اندازه‌گیری کارایی خوش بینانه و بدبینانه با توجه به خروجی‌های نامطلوب و داده‌های نادقیق برخوردار بود. انتخاب تامین‌کنندگان تصمیم مهم ولی پیچیده‌ای است که نیاز به بررسی دقیق معیارهای عملکردی مختلف دارد. به طور سنتی، مدل‌های انتخاب تامین‌کنندگان مبتنی بر داده‌های اصلی هستند و بر داده‌های ترتیبی تاکید کمتری می‌شود؛ اما با کاربرد گسترده روش‌های تولید مانند روش به موقع، به تازگی تاکید بیشتری بر لحاظ کردن داده‌های نادقیق، یعنی مخلوطی از داده‌های بازه‌ای و ترتیبی، می‌شود (عزیزی، ۲۰۱۱).

این مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است: در بخش دوم، مروری بر ادبیات تحقیق ارائه می‌شود. در بخش سوم مدل‌های DEA با مرزهای دوگانه برای اندازه‌گیری کارایی خوش بینانه و بدبینانه در حضور داده‌های نادقیق و خروجی‌های نامطلوب معرفی می‌شود، سپس در بخش چهارم کارایی کلی بازه‌ای DMU_s را محاسبه و رتبه‌بندی می‌کنیم. در بخش پنجم یک مثال عددی برای نشان دادن سادگی و اثربخشی استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها با مرز کارا و ناکارا برای انتخاب تامین‌کنندگان ارائه می‌کنیم.

¹ Azadi et al.

² Charnes et al.

³ Azizi

⁴ Wang and Chin

⁵ Saen

امروزه اهمیت تصمیم‌گیری درباره تأمین‌کنندگان مناسب، بسیار مهم و سخت است؛ به طوری که هرچه وابستگی سازمان‌ها به تأمین‌کنندگان بیشتر شود نتایج مستقیم و غیرمستقیم تصمیم‌گیری نادرست و غلط نیز زیان بارتر می‌شود. همچنین کسب رضایت مشتری، تأمین نیازها و اولویت‌های مشتری مستلزم انتخاب و ارزیابی سریع و مناسب تأمین‌کنندگان است (صالحی و صیاح^۱، ۲۰۱۷).

برخی رویکردهای برنامه‌ریزی ریاضی در گذشته برای انتخاب تأمین‌کننده استفاده شده است. نیدیک و هیل^۲ (۱۹۹۲)، بارباروس اوغلو و یازغاج^۴ (۱۹۹۷) و نارسیمهان (۱۹۸۳) از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی برای پشتیبانی از تصمیمات انتخاب تأمین‌کننده استفاده کردند. قهرمان و همکاران^۵ (۲۰۰۳) AHP فازی را برای انتخاب بهترین تأمین‌کننده که بیشترین رضایت را برای معیارهای تعیین شده ایجاد می‌کند، پیشنهاد کردند. اوزغن و همکاران^۶ (۲۰۰۸) تلفیقی از AHP و برنامه‌ریزی خطی امکان‌گرای چند آرمانی را برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده پیشنهاد کردند. غضنفری و ریاضی^۷ (۲۰۰۳) رویه‌ای را ارائه کردند که بتوان تأمین‌کنندگان مطمئنی را برای هر تجارت انتخاب نمود. در این رویه ارتباط انتخاب تأمین‌کنندگان با توجه استراتژی‌های کلان شرکت مدنظر قرار گرفته و در یک فرایند گام به گام تأمین‌کنندگان مختلف مورد ارزیابی واقع شده که در نهایت با توجه به معیارهای جبرانی و غیر جبرانی، تأمین‌کنندگان توسعه‌یافته، قابل توسعه و نامناسب برای توسعه شناسایی می‌شوند. خلیل‌زاده و کاتبی^۸ (۲۰۱۵) با رویکرد ترکیبی ANP و QFD به ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان زنجیره تأمین پرداختند. عباس‌زاده و همکاران^۹ (۲۰۱۷) از TOPSIS و DEMATEL برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده استفاده کردند. فلاح‌پور و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۷) یک مدل FPP-FTOPSIS یکپارچه برای انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار توسعه دادند. قادیکلایی و همکاران^{۱۱} (۲۰۱۷) به بررسی عوامل مؤثر در انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار پرداختند.

یکی از روش‌های مشهور برای ارزیابی و انتخاب زنجیره‌های تأمین، تحلیل پوششی داده‌ها است (عزیزی و همکاران، ۲۰۱۵). طلوع و نالچیگر^{۱۲} (۲۰۱۱) یک روش جدید DEA برای انتخاب تأمین‌کننده در حضور داده‌های اصلی و ترتیبی ارائه کردند. جعفرنژاد و همکاران^{۱۳} (۲۰۰۸) به ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین در حالت

¹ Salehi & Sayyah

² Nydick and Hill

³ Barbarosoglu

⁴ Yazgac

⁵ Ghahraman et al.

⁶ Özgen

⁷ Ghazanfari and Riazi

⁸ Khalilzade and katebi

⁹ Abbas-zade et al.

¹⁰ Fallahpour et al.

¹¹ Ghadikolaei et al.

¹² Toloo and Nalchigar

¹³ Jafarnezhad et al.

منبع‌یابی منفرد با رویکرد فازی پرداختند. شاهرودی و حسنی^۱ (۲۰۱۱) مدلی ریاضی به منظور انتخاب تأمین‌کنندگان با استفاده از رویکرد تلفیقی تحلیل پوششی داده‌ها و هزینه کل مالکیت ارائه کردند. صالحی و صیاح (۲۰۱۷) ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان را در شرایط عدم قطعیت با رویکرد تحلیل پوششی داده‌های خاکستری مورد بررسی قرار دادند. فاضلی و همکاران^۲ (۲۰۱۵) به بررسی عملکرد تأمین‌کنندگان کالا و پیمانکاران زنجیره تأمین شرکت گاز با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها پرداختند. جوادنیا و غلام ابری (۲۰۱۳) ارزیابی تأمین‌کنندگان اقلام تولیدی گروه خودروسازی سایپا را با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها مورد بررسی قرار دادند. قائمی نسب و همکاران^۳ (۲۰۱۳) روشی برای انتخاب تأمین‌کننده بر مبنای DEA-TOPSIS ارائه کردند. رشیدی و همکاران^۴ (۲۰۱۹) با مقایسه DEA فازی و TOPSIS فازی انتخاب تأمین‌کنندگان را مورد بررسی قرار دادند. جوئر و پانت^۵ (۲۰۱۷) انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار را با ادغام DEA با DE و MODE مورد بررسی قرار دادند.

۲-۲- تحلیل پوششی داده‌ها

بیست سال بعد از اولین تحقیق فارل^۶ در سال ۱۹۵۷، در زمینه روش‌های ارزیابی کارایی، چارنز و همکاران در سال ۱۹۷۸ به یافتن روشی برای ارزیابی کارایی واحدها با چندین ورودی و خروجی پرداختند و موفق شدند رویکرد قوی که تحت عنوان تحلیل پوششی داده‌ها نامیده شد، ارائه دهند. تحلیل پوششی داده‌ها یک روش ناپارامتریک است که به بررسی و ارزیابی کارایی واحدهای مشابه می‌پردازد. این واحدهای مشابه تحت عنوان واحدهای تصمیم‌گیرنده (DMU) یاد می‌شوند و ورودی‌های چندگانه را به خروجی‌های چندگانه تبدیل می‌کند. در DEA، با استفاده از مجموعه‌ای از مشاهدات یک تابع تولید از روی داده‌های مشاهده شده ساخته می‌شود. این روش یک تابع مرزی به دست می‌دهد که تمام داده‌ها را شامل می‌شود، به همین دلیل آن را تحلیل پوششی داده می‌نامند از طرف دیگر، چون روش DEA مبتنی بر مجموعه‌ای از مسائل بهینه‌سازی است. در این مسائل هیچ‌گونه پارامتری جهت تخمین وجود ندارد، لذا این روش یک روش ناپارامتریک است (چارنز و همکاران، ۱۹۷۸). در نتیجه می‌توان تحلیل پوششی داده‌ها را به‌طور گسترده‌ای برای مشکلات انتخاب تأمین‌کننده به کار برد.

DEA یکی از ابزارهای تحقیق در عملیاتی برای ارزیابی کارایی نسبی DMUها (تأمین‌کنندگان) است. امروزه استفاده از DEA محدود به اندازه‌گیری عملکرد عملیات سازمان نیست. در واقع، DEA یک تکنیک گسترده‌ای است که نه تنها کارایی عملیاتی بلکه عملکرد محیطی و اجتماعی شرکت‌های مختلف را ارزیابی می‌کند. سوئیشی و گوتو^۷ (۲۰۱۰) از DEA برای ارزیابی اثربخشی اقدامات هوای پاک در کنترل انتشار CO₂ استفاده می‌کنند. اخیراً رشیدی و همکاران (۲۰۱۵) DEA را برای برآورد صرفه‌جویی در انرژی و کاهش خروجی نامطلوب ۲۵ کشور به کار بردند. امیر تیموری و خوش‌اندام^۸ (۲۰۱۱) برای کارایی زنجیره تأمین از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها استفاده کردند. برای ارزیابی ارزش

¹ Shahrodi and hasani

² Fazeli et al.

³ Ghaemi nasab et al.

⁴ Rashidi et al.

⁵ Jauhar and Pant

⁶ farell

⁷ Sueyoshi and Goto

⁸ Amirteimoori and Khoshandam

نسبی مشتریان نوری زاده و همکاران^۱ (۲۰۱۳) مدل مؤثری را ارائه دادند. کومارتال و همکارانش^۲ (۲۰۱۴) یک رویکرد قوی در مشکلات انتخاب تأمین کنندگان ارائه کردند. آزادی و همکاران (۲۰۱۵) برای ارزیابی کارایی و اثربخشی تأمین کنندگان در مدیریت زنجیره تأمین پایدار، یک مدل جدید تحلیل پوششی داده‌های فازی ارائه کردند. یوسفی و همکاران^۳ (۲۰۱۶) مدل تحلیل پوششی داده‌های پویا قوی برای ارزیابی و رتبه‌بندی پایداری تأمین کنندگان ارائه کردند. یوسفی و همکاران (۲۰۱۴) یک DMU ایدئال برای رتبه‌بندی DMUهای نامناسب و کارآمد را ایجاد کرد. یک مدل پویای SBM (DSBM) توسط تن و سوسویی^۴ (۲۰۱۰) برای ارزیابی DMUها در طول زمان ارائه شد. علاوه بر این، مدل DEA پویای شبکه توسط تن و سوسویی (۲۰۱۴) ارائه شده است.

۱-۲-۲- تحلیل پوششی داده‌ها با مرزهای دوگانه

برای آن که از DEA بهترین بهره گرفته شود و از محاسبات ذهنی و پیچیده اجتناب شود عزیزی (۲۰۱۱) روش DEA جدیدی که DEA با مرزهای دوگانه نامیده می‌شود، برای انتخاب تأمین کننده معرفی شد. DEA با مرزهای دوگانه دو کارایی را برای تصمیم‌گیری در نظر می‌گیرد: یکی نسبت به مرز کارایی اندازه‌گیری می‌شود و بهترین کارایی نسبی یا کارایی خوش‌بینانه نامیده می‌شود و دیگری نسبت به مرز ناکارایی که به آن مرز ورودی نیز می‌گویند سنجیده می‌شود و بدترین کارایی نسبی یا کارایی بدبینانه نامیده می‌شود. DEA سنتی فقط بهترین کارایی نسبی گروهی از واحدهای تصمیم‌گیری را ضمن اجتناب از کارایی‌های بدبینانه اندازه‌گیری می‌کند، بنابراین نمی‌تواند یک سنجش کلی از DMUها ارائه دهد. با در نظر گرفتن هم‌زمان کارایی‌های خوش‌بینانه و بدبینانه، تأمین کنندگان را می‌توان بدون نیاز به محاسبات زیاد و یا اطلاع داشتن از ترجیحات ذهنی تصمیم‌گیرنده انتخاب کرد (عزیزی، ۲۰۱۱؛ عزیزی و آجیرلو^۵، ۲۰۱۰). عزیزی و جاهد^۶ (۲۰۱۵) رویکرد جدیدی بر مبنای DEA با مرزهای دوگانه در محیط‌های تخفیف حجمی در حضور داده‌های اصلی و ترتیبی ارائه کردند. ایزدی^۷ -آه و فرضی پور^۸ (۲۰۱۸) یک مدل DEA دومرحله‌ای در حضور داده‌های تصادفی و نامطلوب برای ارزیابی پایداری زنجیره تأمین ارائه کردند. فتح^۹ و فرضی پور (۲۰۱۸) یک مدل تحلیل پوششی داده‌های دوجته جدید برای ارزیابی پایداری زنجیره‌های تأمین توزیع شرکت‌های حمل‌ونقل ارائه کردند. یوسفی و همکاران (۲۰۱۷) خدا کرمی و همکاران^۹ (۲۰۱۵) مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های دومرحله‌ای را در ارزیابی پایداری مدیریت زنجیره تأمین توسعه دادند و برای سنجش عملکرد شبکه‌های دومرحله‌ای سه مدل پیشنهاد کردند. شعبانپور و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۷) از برنامه‌نویسی آرمانی و DEA با مرزهای دوگانه برای برنامه‌ریزی آینده برای سنجش و رتبه‌بندی تأمین کنندگان پایدار استفاده کردند.

¹ Noorizadeh et al.

² Kumar et al.

³ Yousefi et al.

⁴ Tone and Tsutsui

⁵ Ajirlu

⁶ Jahed

⁷ Izadikhah and Farzipor

⁸ Fath

⁹ Khodakarami et al.

¹⁰ Shabanpour et al.

در ارزیابی عینی عملکرد واحدهای تصمیم‌گیری، دو مشکل وجود دارد. مشکل اول نحوه کار با خروجی‌های نامطلوب است که در کنار خروجی‌های مطلوب تشکیل می‌شوند. مقالات سنتی فقط به خروجی‌های مطلوب ارزش می‌دهند و خروجی‌های نامطلوب را به‌سادگی مورد چشم‌پوشی قرار می‌دهند ولی چشم‌پوشی از خروجی‌های نامطلوب درست مانند این است که بگوییم که آن‌ها در ارزیابی نهایی هیچ ارزشی ندارند و ممکن است به نتایج گمراه‌کننده‌ای منتهی شود؛ بنابراین باید به واحدهای تصمیم‌گیری در مقابل تولید خروجی‌های مطلوب اعتبار داده شود و در مقابل تولید خروجی‌های نامطلوب مجازات شوند. مشکل دوم در مورد نحوه مواجهه با داده‌های نادقیق است؛ اما با توجه به مشکلات ساخت مدل و فراهمی داده‌ها، مقالات کمی منتشر شده‌اند که هر دو مسئله را با هم در نظر گرفت. عزیزی (۲۰۱۲) یک رویکرد جدید برای انتخاب تأمین‌کنندگان در حضور داده‌های نادقیق: DEA با مرزهای دوگانه ارائه کردند. برای کار با داده‌های نادقیق در تحلیل پوششی داده‌ها، مدل‌ها و روش‌های تحلیل پوششی داده‌های نادقیق ایجاد شده‌اند. منظور ما از داده‌های نادقیق آن است که برخی از داده‌ها فقط تا به آن حد معلوم هستند که می‌دانیم مقدار حقیقی آن‌ها در داخل کران‌های تعیین‌شده قرار دارند و برخی دیگر از داده‌ها به‌صورت ترتیبی تعیین‌شده‌اند (رضویان و توحیدی^۱، ۲۰۰۹).

نگرش کلی در ارزیابی عملکرد واحدها آن است که کاهش میزان ورودی و افزایش میزان خروجی موجب بهبود عملکرد و بهترین کارکرد می‌شود. مدل‌هایی از جمله CCR و BCC بر این مبنا استوارند اما باید توجه داشت که در فعالیت‌های تولید واقعی بسیاری از ورودی و خروجی‌ها نامطلوب هستند. به‌عنوان مثال در فرایند تصفیه و کاهش آلودگی آب باید میزان بیشتری آب آلوده (ورودی بیتر) به فرایند تصفیه آب تحویل داده شود و میزان دفع آلاینده‌ها و زباله خروجی نامطلوب است که برای بهبود عملکرد باید کاهش داده شود (لیئو و همکاران، ۲۰۱۵). برای اولین بار فار و گراسکاپف^۲ (۲۰۰۰) مقایسه کارایی چندبعدی را وقتی که برخی از خروجی‌ها نامطلوب هستند ارائه کردند. جهانشاهلو و همکاران^۳ (۲۰۰۴) برنامه خطی چندهدفه‌ای را برای مسائل با عوامل نامطلوب ارائه و حل نمودند. امیرتیموری و همکاران (۲۰۰۶) مدلی را با هدف بهبود عملکرد از طریق افزایش ورودی‌ها نامطلوب و کاهش خروجی‌های نامطلوب در ارزیابی عملکرد ۱۴ بانک تجاری ایران به کار بردند. کردرستمی و همکاران^۴ (۲۰۰۵) مدل دومرحله‌ای را در دو حالت با خروجی نامطلوب میانی و نهایی بررسی کردند. رضویان و توحیدی (۲۰۰۹) روشی برای ارزیابی واحدهایی که دارای ساختار شبکه‌ای و داده‌های نادقیق هستند ارائه کردند. لیو و همکاران^۵ (۲۰۱۵) مدل DEA دومرحله‌ای با ورودی-میانی و خروجی نامطلوب ارائه کردند. چچینی و همکاران^۶ (۲۰۱۸) به تجزیه و تحلیل کارایی محیطی و برآورد هزینه‌های کاهش CO₂ در مزارع گاو شیری در (ایتالیا) پرداختند و یک مدل SBM-DEA با خروجی نامطلوب ارائه کردند. شفیعی نیک‌آبادی و همکاران^۷ (۲۰۱۷) مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای با تلفیقی از خروجی‌های مطلوب و نامطلوب میانی و نهایی را ارائه کردند. یوسفی و همکاران (۲۰۱۷) استفاده از رویکرد DEA-FMEA قوی با

¹ Razavian and Tohidi

² Fare and Grosskopf

³ Jahanshahlu et al.

⁴ Rostami et al.

⁵ Liu et al.

⁶ Cecchini et al.

⁷ Shafiei Nikabadi et al.

خروجی‌های نامطلوب به اولویت‌بندی خطر ابتلا به HSE پرداختند. مقبولی و همکاران (۲۰۱۴) یک رویکرد مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها با ساختارهای شبکه‌ای دومرحله‌ای با خروجی‌های نامطلوب را ارائه کردند.

ایزدی خواه و فرضی‌پور (۲۰۱۸) یک مدل DEA دومرحله‌ای برای سنجش داده‌های تصادفی و نامطلوب برای ارزیابی پایداری زنجیره تأمین ارائه کردند. ایزدی خواه و همکاران (۲۰۱۸) مدل جدید DEA دومرحله‌ای با ورودی‌های اولیه آزادانه توزیع‌شده و خروجی‌های میانی مشترک ارائه کردند.

۲-۳- رتبه‌بندی بازه‌ای

با توجه به عدم دقت و صحت داده‌ها در سیستم‌های دنیای واقعی، سیستم‌های برنامه‌ریزی خطی بازه‌ای (ILP) از اهمیت زیادی برخوردار می‌شوند؛ بنابراین بسیاری از محققان مدل‌ها و روش‌هایی را برای مقابله با این نوع مشکلات ارائه دادند. ژو و همکاران^۱ (۲۰۰۹)، یک برنامه‌ریزی خطی بازه‌ای اصلاح‌شده را ارائه کردند. با توجه به این روش، در مورد مزیت این مدل، فضای راه‌حل مربوطه کاملاً امکان‌پذیر است درحالی‌که با راه‌حل برنامه‌ریزی خطی بازه‌ای مقایسه می‌شود. مزیت این روش این است، درحالی‌که با ILP مقایسه می‌شود، میزان عدم قطعیت مربوطه بسیار پایین‌تر از مدل ILP با توجه به فضای راه‌حل امکان‌پذیر است. همان‌طور که در کار لودویک و جیمسون^۲ (۲۰۰۳) بیان شده، آن‌ها یک روشی را پیشنهاد دادند، در نتایج محاسبه‌شده کنترل خودکار آنالیز خطا فاصله معرفی و استفاده می‌شود. این روش برای حل مشکلات LP با ضریب فاصله استفاده می‌شود. توجه داشته باشید که عدم اطمینان اعداد را بدون در نظر گرفتن هرگونه توزیع مورد استفاده قرار می‌دهد. بعضی از مثال‌های این روش به شرح زیر است: هوانگ و مور^۳ (۱۹۹۳)، چینک و رامادان^۴ (۲۰۰۰) و سنگوتا و همکاران^۵ (۲۰۰۱).

به‌طور خاص، برای حل یک مدل LP خاص با محدودیت‌های محدود، درحالی‌که حدهای بالا و پایین در دست هستند، یک مدل پایه‌ای توسط بن اسرائیل و رابرتز^۶ (۱۹۷۰) ارائه شده است. این مدل توسط رامل فانگر و همکاران^۷ (۱۹۸۹) اصلاح شد و نیوگیوچی و سکاوا^۸ (۱۹۹۵) با یک تابع هدف فاصله‌ای درحالی‌که دارای حد بالا و پایین است. در چنین شرایطی یک مدل LP جدید و یک روش جدید BWS توسط هوانگ و مور (۱۹۹۳) ارائه شد. لادیک^۹ (۲۰۰۹) یک رویکرد جدیدی ارائه کرد که در آن محدوده دقیق برای تابع ارزش بهین، یا توجه به هر سیستم بازه‌ای خطی، محاسبه می‌شود. به‌عنوان مزیت روش ارائه شده می‌توان ذکر کرد که ضرایب ماتریس محدودیت به یکدیگر وابسته هستند. همان‌طور که لادیک (۲۰۰۹) بیان کرد، روابط بین مجموعه راه‌حل‌های اولیه و ثانویه می‌تواند مشخص شود.

¹ Zhu et al.

² Lodwick and Jamison

³ Huang and moore

⁴ Chinneck and Ramadan

⁵ Sengupta et al.

⁶ Ben-Israel and Robers

⁷ Rommelfanger et al.

⁸ Sakawa

⁹ Lodwick

با توجه به نادرستی و عدم دقت ذاتی داده‌ها در مسائل دنیای واقعی لادیک (۲۰/۱۰) با توجه به داده‌های بازه‌ای، مشکلات برنامه‌ریزی خطی کسری تعمیم داد. در این روش عمومی، یک روش جدید برای محاسبه طیف وسیعی از مقادیر بهینه ارائه شده است. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این روش این است که درحالی که روش حل یک نقطه داخلی ایدئال است، محاسبات انجام شده در زمان چندجمله‌ای‌ها حساب شده است. با توجه به تحقیقات اخیر، مشکلات برنامه‌ریزی خطی چند هدفه (MOLP) به‌طور خاص توجه شد. این موضوع با داده‌ای بازه‌ای مطرح شده در کار اولیوریا و انتونز^۱ (۲۰۰۹) متفاوت است. در یک مقاله ارائه شده توسط اولیوریا و انتونز (۲۰۰۷) شرط ذکر شده تنها به‌منظور ضرایب تابع هدف گرفته شده است. توجه داشته باشید که یک مسئله مهم در MOLP کارایی لازم است، برای تحقق تمام داده‌های بازه‌ای، نشان می‌دهد که یک نقطه شدنی امکان‌پذیر است همان‌طور که در کار ایدا^۲ (۱۹۹۹) و لادیک (۲۰۱۰) بیان شد. در سال ۲۰۱۱ لادیک برای بررسی کارایی لازم درحالی که برنامه‌ریزی خطی چند هدفه بازه‌ای مطرح شد، برخی نتایج پیچیدی ارائه شد. وو (۲۰۱۱) یک مقاله ارائه داد که نظریه دوگانه ضعیف و قوی را در حضور داده‌های بازه‌ای مورد بحث قرار داد. این مسئله توسط سوستر^۳ (۱۹۷۴) و تونته (۱۹۸۰) ارائه شده است.

رویکرد ارائه شده توسط وو (۲۰۱۱) بر اساس مفهوم محصول داخلی بازه‌های بسته است. این رویکرد به نحوی با مشکلات MOP مرتبط است. در یک مقاله سنگوپتا و پال (۲۰۰۰) دو عدد بازه‌ای را در خط اعداد حقیقی در نظر گرفتند و یک نظرسنجی از کارهای موجود برای مقایسه و رتبه‌بندی چنین بازه‌هایی ارائه کردند. سپس، دو روش برای رتبه‌بندی پیشنهاد کردند. یکی یک شاخص قضاوت ارزش را شرح می‌دهد و دیگری ترتیب ترجیحات دقیق و فازی را در رابطه با دیدگاه تصمیم‌گیرنده بدبینانه تعریف می‌کند. سرانجام حسین زاده و همکاران (۲۰۱۸) مقاله‌ای با عنوان حل مشکلات برنامه‌ریزی خطی کاملاً بازه‌ای ارائه کردند. در این مقاله یک روش جدید تعریف شده است که راه‌حل‌های جبری را برای مسائل برنامه‌ریزی خطی کاملاً بازه‌ای با استفاده از یک مسئله برنامه‌نویسی غیرخطی به دست می‌دهد.

۳- کارایی خوش‌بینانه و بدبینانه و رتبه‌بندی بازه‌ای

در این بخش به رتبه‌بندی بازه‌ای DMUها با توجه به تحلیل پوششی داده‌ها با مرزهای دوگانه در حضور خروجی‌های نامطلوب و داده‌های نادقیق می‌پردازیم.

۳-۱- مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای برای اندازه‌گیری کارایی خوش‌بینانه

فرض کنید n واحد تصمیم‌گیری باید ارزیابی شوند. هر واحد تصمیم‌گیری m ورودی را برای تولید s خروجی مصرف می‌کند. به‌طور خاص DMU_j مقادیر $x_j = \{x_{ij}\}$ از ورودی $(i=1, \dots, m)$ را مصرف می‌کند و مقادیر $y_j = \{y_{rj}\}$ از خروجی $(r=1, \dots, s)$ را تولید می‌کند. بدون از دست رفتن کلیت موضوع فرض می‌شود که همه داده‌ها به علت وجود عدم اطمینان به‌طور دقیق قابل تعیین نیستند. فقط می‌دانیم که در درون کران‌های بالا و پایین تعیین شده به‌صورت

$$x_{ij}^L \leq x_{ij} \leq x_{ij}^U$$

¹ Oliveira and Antunes

² Ida

³ Soyster

$[y_{ij}^L, y_{ij}^U]$ قرار دارند که در اینجا $x_{ij}^L > 0$ و $y_{ij}^L > 0$.

برای کارکردن با چنین موقعیت نامطمئنی، وانگ و همکاران (۲۰۱۵) مدل‌های برنامه‌ریزی خطی (۱) و (۲) را برای به دست آوردن کران‌های بالا و پایین بازه کارایی هر واحد تصمیم‌گیری ارائه کردند که کارایی‌های خوش‌بینانه واحدهای تصمیم‌گیری را اندازه‌گیری می‌کنند:

$$\begin{aligned} \max \theta_O^u &= \sum_{r=1}^s u_r y_{ro}^u \\ \text{s.t.} \quad &\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^u - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^L \leq 0, \quad j=1, \dots, n \\ &\sum_{i=1}^m v_i x_{io}^L = 1 \\ &v_i, u_r \geq \varepsilon, \quad r=1, \dots, s \quad i=1, \dots, m \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \max \theta_O^L &= \sum_{r=1}^s u_r y_{ro}^L \\ \text{s.t.} \quad &\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^u - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^L \leq 0, \quad j=1, \dots, n \\ &\sum_{i=1}^m v_i x_{io}^U = 1 \\ &v_i, u_r \geq \varepsilon, \quad r=1, \dots, s \quad i=1, \dots, m \end{aligned} \quad (2)$$

به ترتیب کارایی خوش‌بینانه تحت مطلوب‌ترین موقعیت و نامطلوب‌ترین موقعیت برای واحد تحت بررسی θ_O^u و θ_O^L می‌باشند. آن‌ها بازه کارایی خوش‌بینانه را $[\theta_O^L, \theta_O^u]$ تشکیل می‌دهند. اگر مجموعه‌ای از وزن‌های مثبت وجود داشته باشند که باعث شود $\theta_O^{u*} = 1$ آنگاه واحد تحت بررسی کارای تحلیل پوششی داده‌ها یا کارای خوش‌بینانه نامیده می‌شود؛ در غیر این صورت به آن غیر کارای تحلیل پوششی داده‌ها یا غیر کارای خوش‌بینانه می‌گویند.

رویکرد مشابهی وجود دارد که از مفهوم مرز ناکارایی برای تعیین بدترین نمره کارایی که می‌توان به هر واحد نسبت داد، استفاده می‌کند. برای اولین بار وانگ و چین مدل تحلیل پوششی داده‌ها با مرزهای دوگانه را توسعه دادند. در این مدل دو نوع نمره کارایی محاسبه می‌شود. بنابراین چون مدل‌های کلاسیک کارایی بدبینانه را محاسبه نمی‌کنند توانایی ارزیابی کلی واحدها را ندارند.

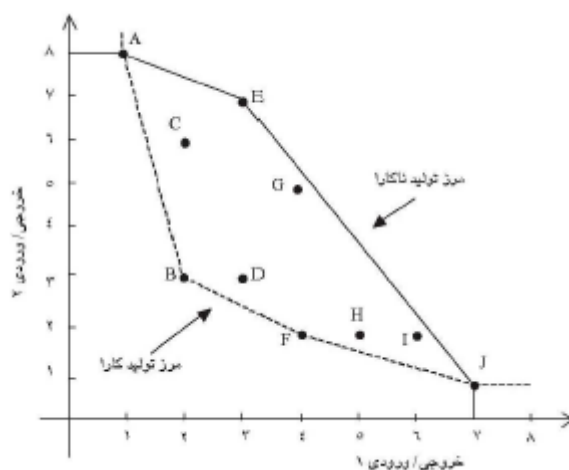
چارچوب با ماهیت ورودی که مبتنی بر مجموعه نیازمندی ورودی و مرز ناکارایی آن است، درصدد آن است که ضمن حفظ خروجی، حداکثر در حد فعلی، مقادیر ورودی را تا حد امکان افزایش دهد و بر این واقعیت تأکید می‌کند که سطح خروجی بدون تغییر می‌ماند و مقادیر ورودی به‌صورت متناسب افزایش داده می‌شوند تا مرز تولید ناکارا حاصل شود. برآورد کننده تحلیل پوششی داده‌ها برای مجموعه امکان تولید ناکارا در اصطلاح کارایی بدبینانه و یا بدترین کارایی نسبی نامیده می‌شود. برای یک واحد تصمیم‌گیری خاص کارایی بدبینانه را می‌توان از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های (۳) و (۴) محاسبه کرد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۵).

$$\begin{aligned} \min \varphi_O^L &= \sum_{r=1}^s u_r y_{ro}^L \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^u - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^L \leq 0, \quad j=1, \dots, n \\ & \sum_{i=1}^m v_i x_{io}^U = 1 \\ & v_i, u_r \geq \varepsilon, \quad r=1, \dots, s \quad i=1, \dots, m \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \min \varphi_O^u &= \sum_{r=1}^s u_r y_{ro}^u \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^u - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^L \leq 0, \quad j=1, \dots, n \\ & \sum_{i=1}^m v_i x_{io}^L = 1 \\ & v_i, u_r \geq \varepsilon, \quad r=1, \dots, s \quad i=1, \dots, m \end{aligned} \quad (4)$$

در مدل‌های (۳) و (۴) کارایی بدبینانه تحت نامطلوب‌ترین موقعیت و φ_O^u کارایی بدبینانه تحت مطلوب‌ترین موقعیت برای واحد تحت بررسی می‌باشند. آن‌ها برای واحد تحت بررسی بازه کارایی بدبینانه $[\varphi_O^L, \varphi_O^u]$ را ارائه کردند. زمانی که مجموعه‌ای از وزن‌های مثبت جود داشته باشد تا $\varphi_O^{L*} = 1$ را تامین کند، می‌گوییم که واحد تحت بررسی ناکارای تحلیل پوششی داده‌ها یا ناکارای بدبینانه است. در غیر این صورت می‌گوییم که غیرناکارای تحلیل پوششی داده‌ها یا غیرناکارای بدبینانه است.

در رویکرد تحلیل پوششی داده‌های متعارف به طور اکید بین واحدهای تصمیم‌گیری غیرکارا و ناکارا افتراق نمی‌دهد و آن‌ها را به یک معنا به کار می‌برد؛ اما در مدل‌های (۱)–(۴) واحدهای غیرکارا، ناکارا و غیر ناکارا هرکدام به طور موکد افتراق داده می‌شوند، زیرا هریک معنای خاصی دارند. مرز کارا و ناکارا برای دو ورودی و یک خروجی در شکل ۱ نشان داده شده است (عزیزی، ۲۰۱۲).



شکل ۱- مرزهای کارا و ناکارا برای دو ورودی و یک خروجی.

Figure 1- Efficient and inefficient boundaries for two inputs and one output.

۳-۳- مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای در حضور خروجی‌های نامطلوب

برای در نظر گرفتن عوامل نامطلوب، کورهنن و لوپتاجیک یک مدل تحلیل پوششی داده‌های مرز بهترین عملکرد معرفی کردند کورهنن و لوپتاجیک^۱، (۲۰۰۴) مدل آن‌ها بر اساس این فکر است که همه خروجی‌ها به صورت یک مجموع وزنی ارائه می‌شوند، ولی برای خروجی‌های نامطلوب از وزن‌های منفی استفاده می‌شود:

$$\begin{aligned} \max \theta_o &= \sum_{r=1}^k u_r y_{ro} - \sum_{t=k+1}^s u_t y_{to} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^k u_r y_{rj} - \sum_{t=k+1}^s u_t y_{tj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad j=1, \dots, n \\ & \sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1 \\ & v_i, u_r \geq \varepsilon, \quad r=1, \dots, s \quad i=1, \dots, m \end{aligned} \quad (5)$$

که در اینجا u_r و u_t به ترتیب وزن‌های داده‌شده به خروجی‌های مطلوب و خروجی‌های نامطلوب هستند. در نهایت با استفاده از مدل (۵)، مدل تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای خوش‌بینانه و بدبینانه که در آن هم داده‌های بازه‌ای و هم خروجی‌های نامطلوب وجود دارند توسط عزیزی و همکاران ارائه شد (عزیزی و همکاران، ۲۰۱۶).

$$\begin{aligned} \max \theta_o^u &= \sum_{r=1}^k u_r y_{ro}^u - \sum_{t=k+1}^s u_t y_{to}^L \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^k u_r y_{rj}^u - \sum_{t=k+1}^s u_t y_{tj}^L - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^L \leq 0, \quad j=1, \dots, n \\ & \sum_{i=1}^m v_i x_{io}^L = 1 \\ & v_i, u_r \geq \varepsilon, \quad r=1, \dots, s \quad i=1, \dots, m \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \max \theta_o^L &= \sum_{r=1}^k u_r y_{ro}^L - \sum_{t=k+1}^s u_t y_{to}^U \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^k u_r y_{rj}^L - \sum_{t=k+1}^s u_t y_{tj}^U - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^L \leq 0, \quad j=1, \dots, n \\ & \sum_{i=1}^m v_i x_{io}^U = 1 \\ & v_i, u_r \geq \varepsilon, \quad r=1, \dots, s \quad i=1, \dots, m \end{aligned} \quad (7)$$

¹ Korhonen and Luptacik



$$\begin{aligned} \min \varphi_o^L &= \sum_{r=1}^k u_r y_{ro}^L - \sum_{t=k+1}^s u_t y_{to}^U \\ s.t. \quad &\sum_{r=1}^k u_r y_{rj}^U - \sum_{t=k+1}^s u_t y_{tj}^L - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^L \leq 0, \quad j=1, \dots, n \\ &\sum_{i=1}^m v_i x_{io}^U = 1 \\ &v_i \cdot u_r \geq \varepsilon, \quad r=1, \dots, s \quad i=1, \dots, m \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \min \varphi_o^U &= \sum_{r=1}^k u_r y_{ro}^U - \sum_{t=k+1}^s u_t y_{to}^L \\ s.t. \quad &\sum_{r=1}^k u_r y_{rj}^L - \sum_{t=k+1}^s u_t y_{tj}^U - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^U \leq 0, \quad j=1, \dots, n \\ &\sum_{i=1}^m v_i x_{io}^L = 1 \\ &v_i \cdot u_r \geq \varepsilon, \quad r=1, \dots, s \quad i=1, \dots, m \end{aligned} \quad (9)$$

۳-۴- تبدیل اطلاعات ترجیح ترتیبی به داده‌های بازه‌ای

مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های ارائه‌شده توسط عزیزی و همکاران (۲۰۱۶) دارای خاصیت عدم‌تغییر نسبت به واحد است به همین دلیل استفاده از تبدیل مقیاس برای اطلاعات ترجیح ترتیبی تأثیری بر کارایی واحدهای تصمیم‌گیری ندارند؛ بنابراین می‌توان یک تبدیل مقیاس را روی هر شاخص ورودی و خروجی انجام داد، به‌طوری‌که بهترین داده‌های ترتیبی کمتر یا مساوی با واحد باشد و بعد یک برآورد بازه‌ای برای هر داده ترتیبی ارائه داد (وانگ و همکاران، ۲۰۰۵).

معمولاً ممکن است سه نوع اطلاعات ترجیح ترتیبی وجود داشته باشد:

۱. اطلاعات ترجیح ترتیبی قوی، از قبیل $X_{ij} > X_{ik}, y_{rj} > y_{rk}$ که می‌توان آن‌ها را به‌صورت $X_{ij} > \eta_i X_{ik}, y_{rj} > \chi_r y_{rk}$ بیان کرد که در اینجا $\eta_i > 1, \chi_r > 1$ پارامترهایی در مورد شدت ترجیح هستند که از سوی تصمیم‌گیرنده ارائه می‌شوند. برای تبدیل اطلاعات ترجیح ترتیبی قوی $y_{r1} \geq y_{r2} \geq \dots \geq y_{rm}$ روابط ترتیبی زیر را پس از تبدیل مقیاس داریم:

$$1 \geq \hat{y}_{r1} \quad \hat{y}_{rj} \geq \chi_r \hat{y}_{r,j+1} \quad j=1, \dots, n-1 \quad \hat{y}_{rm} \geq \sigma_r \quad (10)$$

$$\hat{y}_{rj} \in [\sigma_r \chi_r^{n-j}, \chi_r^{1-j}] \quad j=1, \dots, n \quad \sigma_r \leq \chi_r^{1-n} \quad (11)$$

۲. اطلاعات ترجیح ترتیبی ضعیف، از قبیل $X_{ip} > X_{iq}, y_{rp} > y_{rq}$

برای تبدیل اطلاعات ترجیح ترتیبی ضعیف $y_{r1} \geq y_{r2} \geq \dots \geq y_{rm}$ روابط ترتیبی زیر را پس از تبدیل مقیاس داریم:

$$1 \geq \hat{y}_{r1} \geq \hat{y}_{r2} \geq \dots \geq \hat{y}_{rm} \geq \sigma_r \quad (12)$$

$$\hat{y}_{rj} \in [\sigma_r, 1] \quad j=1, \dots, n \quad (13)$$

۳. رابطه بی تفاوتی از قبیل $X_{it} = X_{it}, y_{it} = y_{it}$

برای رابطه بی تفاوتی، بازه‌های مجاز همان‌هایی هستند که برای اطلاعات ترجیح ترتیبی ضعیف به دست آمدند. از طریق تبدیل مقیاس بالا و برآورد بازه‌های مجاز همه اطلاعات ترجیح ترتیبی به داده‌های بازه‌ای تبدیل می‌شود که به این ترتیب می‌توان آن را در مدل‌های (۶) - (۹) الحاق کرد.

۴- کارایی کلی و رتبه‌بندی بازه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها با مرزهای دوگانه

برای اندازه‌گیری عملکرد کلی DMUها و رتبه‌بندی، مدل پیشنهادشده توسط حسین‌زاده و همکاران (۲۰۱۸) مورد استفاده قرار می‌گیرد. دو کارایی به دست آمده در مراحل قبل (خوش‌بینانه و بدبینانه) به عنوان یک عدد بازه‌ای که دارای حد بالا و پایین است، در نظر گرفته می‌شوند $[x] = [\underline{x}, \bar{x}]$ و سپس شاخص عملکرد رتبه‌بندی $Ind(): I \rightarrow R$ اعداد بازه‌ای $[x]$ را در زیر بیان می‌شود. این رویکرد به وزن‌های عمل‌کننده با مقادیر مختلفی اجازه می‌دهد از نظر تصمیم‌گیرنده تعیین شوند.

$$Ind([x]) = \sum_{i=0}^n w_i x_i,$$

$$\begin{cases} x_i = i \left(\frac{\bar{x} - \underline{x}}{n} \right) + \underline{x} \\ \sum_{i=0}^n w_i = 1 \quad 0 < w_1 < w_2 < \dots < w_n \leq 1, \end{cases} \quad i = 0, 1, \dots, n, \quad (14)$$

۵- مثال عددی

مجموعه داده‌ها برای این مثال از فرضی‌پور صائن گرفته شده است و حاوی مشخصات ۱۸ تأمین‌کننده است که در **جدول ۱** نشان داده شده است (فرضی‌پور صائن، ۲۰۱۰). ورودی‌های کاردینال در نظر گرفته شده، هزینه کل ارسال‌ها است. خروجی مطلوب تعداد صورتحساب‌های دریافت شده از تأمین‌کننده بدون خطا است که به صورت خروجی کران‌دار در نظر گرفته خواهد شد. خروجی نامطلوب تعداد قطعات در میلیون برای قطعات معیوب است. شهرت تأمین‌کننده یک عامل نامشهود است که معمولاً به صراحت در مدل ارزیابی برای تأمین‌کننده منظور نمی‌شود. این متغیر کیفی روی یک مقیاس ترتیبی اندازه‌گیری می‌شود.

برای مثال به تأمین‌کننده شماره ۱۸ بالاترین شهرت داده می‌شود و به تأمین‌کننده شماره ۱۷ پایین‌ترین شهرت. مقدار بینهایت کوچک غیر ارشمیدسی برای این مثال $\varepsilon = 10^{-4}$ منظور شده است. پارامتر شدت ترجیح و پارامتر نسبت درباره اطلاعات ترجیح ترتیبی قوی به ترتیب به صورت $\eta_p = 1/0.5$ و $\sigma_p = 0/0.5$ داده شده‌اند. برای نشان دادن تکنیک تبدیل اطلاعات ترجیح ترتیبی به داده‌های بازه‌ای، تأمین‌کننده شماره ۶ مورد بررسی قرار می‌گیرد:

$$\hat{x}_{26} \ni [\sigma_p \eta_p^{n-j}, \eta_p^{1-j}] = [0/0.5(1/0.5)^{18-17}, 1/0.5^{1-17}] = [0/0.525, 0/4581]$$

برآورد بازه‌ای برای شهرت هر تأمین‌کننده در ستون دوم **جدول ۲** آورده شده است. بنابراین همه داده‌های ورودی و خروجی به اعدادی تبدیل شده‌اند و می‌توان کارایی آن‌ها را با مدل‌های (۶) - (۹) محاسبه کرد.

با اجرای مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای (۶) و (۷) نمرات کارایی خوش‌بینانه تأمین‌کنندگان را به دست می‌آوریم که در ستون سوم **جدول ۲** نشان داده شده است. با توجه به **جدول ۲** می‌توان دریافت که تأمین‌کننده ۱، ۱۴ و ۱۷ کارای خوش‌بینانه می‌باشند. اگر آن‌ها قادر باشند از ورودی‌های کمتر برای تولید خروجی‌های بیشتر استفاده کنند، آن‌ها کارای DEA یا کارای خوش‌بینانه هستند در غیر این صورت کارای خوش‌بینانه نیستند. این تأمین‌کنندگان امکان کارای خوش‌بینانه بودن را دارند اما به دلیل تفاوت در کارایی‌های کران پایین، عملکرد آن‌ها در حقیقت متفاوت است. بقیه تأمین‌کنندگان با نمرات کارایی کمتر از ۱ غیرکارای خوش‌بینانه دانسته می‌شوند. همچنین با اعمال مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای (۸) و (۹) نمرات کارایی بدبینانه تأمین‌کنندگان را به دست می‌آوریم که در ستون آخر **جدول ۲** نشان داده شده‌اند. از دیدگاه کارایی بدبینانه، تأمین‌کنندگان ۵، ۱۰ و ۱۵ ناکارای بدبینانه می‌باشند. اگر آن‌ها از ورودی بیشتر برای تولید خروجی کمتر استفاده کنند ناکارای بدبینانه خواهند بود؛ در غیر این صورت غیر ناکارای بدبینانه خواهند بود.

جدول ۱ - ورودی‌ها و خروجی‌ها.

Table 1- Inputs and outputs.

شماره تأمین‌کننده	هزینه کل ارسال (۱۰۰۰\$)	ورودی‌ها		خروجی نامطلوب
		شهرت تأمین‌کننده	خروجی مطلوب	
۱	۲۵۳	۵	[۵۰، ۶۵]	۱
۲	۲۶۸	۱۰	[۶۰، ۷۰]	۵/۳
۳	۲۵۹	۳	[۴۰، ۵۰]	۴/۶
۴	۱۸۰	۶	[۱۰۰، ۱۶۰]	۳۰
۵	۲۵۷	۴	[۴۵، ۵۵]	۳۰
۶	۲۴۸	۲	[۸۵، ۱۱۵]	۳۰
۷	۲۷۲	۸	[۷۰، ۹۵]	۳۰
۸	۳۳۰	۱۱	[۱۰۰، ۱۸۰]	۱۳/۸
۹	۳۲۷	۹	[۹۰، ۱۲۰]	۴
۱۰	۳۳۰	۷	[۵۰، ۸۰]	۳۰
۱۱	۳۲۱	۱۶	[۲۵۰، ۳۰۰]	۲۶/۴
۱۲	۳۲۹	۱۴	[۱۰۰، ۱۵۰]	۲۵/۸
۱۳	۲۸۱	۱۵	[۸۰، ۱۲۰]	۲۵/۸
۱۴	۳۰۹	۱۳	[۲۰۰، ۳۵۰]	۲۱/۹
۱۵	۲۹۱	۱۲	[۴۰، ۵۵]	۹
۱۶	۳۳۴	۱۷	[۷۵، ۸۵]	۷
۱۷	۲۴۹	۱	[۹۰، ۱۸۰]	۶/۳
۱۸	۲۱۶	۱۸	[۹۰، ۱۵۰]	۲۸/۸

جدول ۲- برآورد بازه‌ای شهرت تأمین‌کنندگان و کارایی خوش‌بینانه و بدبینانه.

Table 2- Estimation of supplier reputation interval and optimistic and pessimistic performance.

شماره تأمین‌کننده	شهرت تأمین‌کننده	بازه کارایی خوش‌بینانه	بازه کارایی بدبینانه
۱	[۰/۰۶۰۸, ۰/۵۳۳۰]	[۰/۶۵۲۵, ۱/۰۰۰۰]	[۱/۴۳۸۸, ۱/۸۷۰۵]
۲	[۰/۰۷۷۶, ۰/۶۷۶۸]	[۰/۱۹۷۵, ۰/۲۳۱۳]	[۱/۶۲۹۶, ۱/۹۰۱۳]
۳	[۰/۰۵۵۱, ۰/۴۸۱۰]	[۰/۱۳۶۱, ۰/۲۳۱۱]	[۱/۱۲۴۰, ۱/۴۰۵۲]
۴	[۰/۰۶۳۸, ۰/۵۵۶۸]	[۰/۴۸۸۱, ۰/۷۸۲۸]	[۳/۱۳۷۶, ۶/۴۶۷۵]
۵	[۰/۰۵۷۹, ۰/۵۰۵۱]	[۰/۱۵۱۹, ۰/۲۳۹۷]	[۱/۰۰۰۰, ۱/۴۳۳۵]
۶	[۰/۰۵۲۵, ۰/۴۵۸۱]	[۰/۳۰۰۱, ۰/۵۵۵۹]	[۲/۴۱۴۵, ۳/۳۴۳۷]
۷	[۰/۰۷۰۴, ۰/۶۱۳۹]	[۰/۲۲۴۶, ۰/۳۴۲۸]	[۱/۷۲۱۳, ۲/۴۸۴۰]
۸	[۰/۰۸۱۴, ۰/۷۱۰۷]	[۰/۲۶۶۸, ۰/۵۶۴۳]	[۲/۲۰۵۴, ۳/۹۷۱۲]
۹	[۰/۰۷۳۹, ۰/۶۴۴۶]	[۰/۳۳۳۵, ۰/۵۸۵۹]	[۲/۰۰۴۰, ۲/۶۷۲۲]
۱۰	[۰/۰۶۷۰, ۰/۵۸۴۷]	[۰/۱۳۱۱, ۰/۳۰۰۸]	[۱/۰۰۰۰, ۱/۶۹۸۳]
۱۱	[۰/۱۰۳۹, ۰/۹۰۷۰]	[۰/۶۸۶۵, ۰/۸۲۴۳]	[۵/۱۶۱۸, ۶/۸۰۳۷]
۱۲	[۰/۰۹۴۳, ۰/۸۲۲۷]	[۰/۲۶۶۴, ۰/۴۰۶۳]	[۲/۱۹۳۱, ۳/۳۱۷۹]
۱۳	[۰/۰۹۹۰, ۰/۸۶۳۸]	[۰/۲۴۹۲, ۰/۳۷۵۲]	[۱/۵۸۷۰, ۳/۱۰۷۱]
۱۴	[۰/۰۸۹۸, ۰/۷۸۳۵]	[۰/۵۷۰۵, ۱/۰۰۰۰]	[۴/۷۱۱۱, ۸/۲۴۶۶]
۱۵	[۰/۰۸۵۵, ۰/۷۴۶۲]	[۰/۱۲۰۷, ۰/۱۶۶۳]	[۱/۰۰۰۰, ۱/۳۷۵۴]
۱۶	[۰/۱۰۹۱, ۰/۹۵۲۴]	[۰/۱۹۸۰, ۰/۲۲۴۵]	[۱/۴۷۵۵, ۱/۸۵۲۸]
۱۷	[۰/۰۵۰۰, ۰/۴۳۶۲]	[۰/۳۱۹۰, ۱/۰۰۰۰]	[۲/۶۳۱۰, ۵/۲۶۲۸]
۱۸	[۰/۱۱۴۶, ۱/۰۰۰۰]	[۰/۳۶۵۵, ۰/۶۱۱۲]	[۱/۵۶۴۴, ۵/۰۵۲۸]

با توجه به دو دیدگاه خوش‌بینانه و بدبینانه براین موضوع تأکید می‌شود که ارزیابی که فقط یکی از این دو دیدگاه را در نظر بگیرد غیرواقع‌گرایانه است (عزیزی، ۲۰۱۲). یک مجموعه نمره دهی عملکرد باید شامل هر دو بازه کارایی خوش‌بینانه و بدبینانه باشد. به این منظور برای محاسبه عملکرد کلی از مدل رتبه‌بندی بازه‌ای ارائه‌شده (حسین‌زاده و همکاران، ۲۰۱۸) به کاربرده می‌شود که نتایج آن در **جدول‌های ۳ و ۴** ارائه‌شده است. در این روش از نمرات بازه کارایی خوش‌بینانه و بدبینانه نمره کارایی کلی هر تأمین‌کننده محاسبه می‌شود که در که در ستون **چهارم جدول ۴** نشان داده‌شده است. طبق این نتایج تأمین‌کننده ۱۴ دارای بیشترین مقدار می‌باشد و در رتبه اول قرار می‌گیرد. رتبه سایر تأمین‌کنندگان نیز طبق نمره کارایی کلی در ستون پنجم **جدول ۴** ارائه‌شده است.

جدول ۳- بازه کارایی خوش‌بینانه و بدبینانه.

Table 3- Optimistic and pessimistic performance range.

شماره تأمین‌کننده	بازه کارایی خوش‌بینانه	Ind([.]) بازه کارایی خوش‌بینانه	بازه کارایی بدبینانه تقسیم بر ۳۰	Ind([.]) بازه کارایی بدبینانه
۱	[۰/۶۵۲۵, ۱/۰۰۰۰]	۰/۸۸۴۷	[۰/۰۴۸۰, ۰/۰۶۲۳]	۰/۰۵۷۶
۲	[۰/۱۹۷۵, ۰/۲۳۱۳]	۰/۲۲۰۱	[۰/۰۵۴۳, ۰/۰۶۳۴]	۰/۰۶۰۴
۳	[۰/۱۳۶۱, ۰/۲۳۱۱]	۰/۱۹۹۶	[۰/۰۳۷۵, ۰/۰۴۶۹]	۰/۰۴۳۸
۴	[۰/۴۸۸۱, ۰/۷۸۲۸]	۰/۶۸۵۱	[۰/۱۰۴۶, ۰/۲۱۵۶]	۰/۱۷۸۸
۵	[۰/۱۵۱۹, ۰/۲۳۹۷]	۰/۲۱۰۶	[۰/۰۳۳۳, ۰/۰۴۷۸]	۰/۰۴۳۰
۶	[۰/۳۰۰۱, ۰/۵۵۵۹]	۰/۴۷۱۱	[۰/۰۸۰۵, ۰/۱۱۴۶]	۰/۱۰۳۳
۷	[۰/۲۲۴۶, ۰/۳۴۲۸]	۰/۳۰۳۶	[۰/۰۵۷۴, ۰/۰۸۲۸]	۰/۰۷۴۴
۸	[۰/۲۶۶۸, ۰/۵۶۴۳]	۰/۴۶۵۶	[۰/۰۷۳۵, ۰/۱۳۲۳]	۰/۱۱۲۸

جدول ۳- بازه کارایی خوش بینانه و بدبینانه.
Table 3- Optimistic and pessimistic performance range.

شماره تامین کننده	بازه کارایی خوشبینانه	$Ind([.])$ بازه کارایی خوشبینانه	بازه کارایی بدبینانه تقسیم بر ۳۰	$Ind([.])$ بازه کارایی بدبینانه
۹	[۰/۳۳۳۵,۰/۵۸۵۹]	۰/۵۰۲۲	[۰/۰۶۶۸,۰/۰۸۹۱]	۰/۰۸۱۷
۱۰	[۰/۱۳۱۱,۰/۳۰۰۸]	۰/۲۴۴۵	[۰/۰۳۳۳,۰/۰۵۶۶]	۰/۰۴۸۹
۱۱	[۰/۶۸۶۵,۰/۸۲۴۳]	۰/۷۷۸۶	[۰/۱۷۲۱,۰/۲۲۶۸]	۰/۲۰۸۷
۱۲	[۰/۲۶۶۴,۰/۴۰۶۳]	۰/۳۵۹۹	[۰/۰۷۳۱,۰/۱۱۰۶]	۰/۰۹۸۲
۱۳	[۰/۲۴۹۲,۰/۳۷۵۲]	۰/۳۳۳۴	[۰/۰۵۲۶,۰/۱۰۳۶]	۰/۰۸۶۷
۱۴	[۰/۵۷۰۵,۱/۰۰۰]	۰/۸۵۷۵	[۰/۱۵۷۰,۰/۲۷۴۹]	۰/۲۳۵۸
۱۵	[۰/۱۲۰۷,۰/۱۶۶۳]	۰/۱۵۱۲	[۰/۰۳۳۳,۰/۰۴۵۸]	۰/۰۴۱۷
۱۶	[۰/۱۹۸۰,۰/۲۲۴۵]	۰/۲۱۵۷	[۰/۰۴۹۲,۰/۰۶۱۸]	۰/۰۵۷۶
۱۷	[۰/۳۱۹۰,۱/۰۰۰]	۰/۷۷۴۱	[۰/۰۸۷۷,۰/۱۷۵۴]	۰/۱۴۶۳
۱۸	[۰/۳۶۵۵,۰/۶۱۱۲]	۰/۵۲۹۷	[۰/۰۵۲۱,۰/۱۶۸۴]	۰/۱۲۹۸

جدول ۴- رتبه بندی بازه‌ای.

Table 4: Interval ranking.

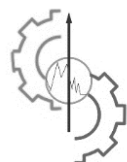
شماره تامین کننده	$Ind([.])$ بازه کارایی خوشبینانه	$Ind([.])$ بازه کارایی بدبینانه	رتبه
۱	۰/۸۸۴۷	۰/۰۵۷۶	۲
۲	۰/۲۲۰۱	۰/۰۶۰۴	۱۴
۳	۰/۱۹۹۶	۰/۰۴۳۸	۱۷
۴	۰/۶۸۵۱	۰/۱۷۸۸	۵
۵	۰/۲۱۰۶	۰/۰۴۳۰	۱۶
۶	۰/۴۷۱۱	۰/۱۰۳۳	۸
۷	۰/۳۰۳۶	۰/۰۷۴۴	۱۲
۸	۰/۴۶۵۶	۰/۱۱۲۸	۹
۹	۰/۵۰۲۲	۰/۰۸۱۷	۷
۱۰	۰/۲۴۴۵	۰/۰۴۸۹	۱۳
۱۱	۰/۷۷۸۶	۰/۲۰۸۷	۳
۱۲	۰/۳۵۹۹	۰/۰۹۸۲	۱۰
۱۳	۰/۳۳۳۴	۰/۰۸۶۷	۱۱
۱۴	۰/۸۵۷۵	۰/۲۳۵۸	۱
۱۵	۰/۱۵۱۲	۰/۰۴۱۷	۱۸
۱۶	۰/۲۱۵۷	۰/۰۵۷۶	۱۵
۱۷	۰/۷۷۴۱	۰/۱۴۶۳	۴
۱۸	۰/۵۲۹۷	۰/۱۲۹۸	۶

با توجه به این که در هر سازمان، تأمین‌کنندگان یکی از ارکان اصلی آن می‌باشند و عملکرد تأمین‌کنندگان می‌تواند باعث بقا و یا نابودی سازمان شود؛ بنابراین به موضوع تأمین‌کنندگان در هر سازمان باید توجه بیشتری شود. به خاطر ماهیت چند معیاری مسئله انتخاب تأمین‌کننده، از DEA به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری چند معیاری مناسب استفاده شد. DEA سنتی فقط بهترین کارایی نسبی گروهی از واحدهای تصمیم‌گیری را ضمن اجتناب از کارایی‌های بدبینانه اندازه‌گیری می‌کند. برای آن که از DEA بهترین بهره گرفته شود و از محاسبات ذهنی و پیچیده اجتناب شود از روش DEA با مرزهای دوگانه استفاده شد. برای رتبه‌بندی از رتبه‌بندی بازه‌ای استفاده شد که دو دیدگاه خوش‌بینانه و بدبینانه هم‌زمان برای تصمیم‌گیری در نظر گرفته شدند. در ارزیابی عینی عملکرد واحدهای تصمیم‌گیری، دو مشکل وجود دارد. مشکل اول نحوه کار با خروجی‌های نامطلوب است که در کنار خروجی‌های مطلوب تشکیل می‌شوند و مشکل دوم در مورد نحوه مواجهه با داده‌های نادقیق است. در این مقاله تأمین‌کنندگان را در حضور هر دو نوع داده‌های نادقیق و خروجی‌های نامطلوب مورد ارزیابی قرار دادیم. پژوهش‌های بیشتری را می‌توان با توجه به نتایج این مقاله انجام داد که برخی از آن‌ها به شرح زیر هستند:

- الگوریتم پیشنهادی را می‌توان با مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای در حضور ورودی نامطلوب و داده‌های نادقیق به کار برد.
- پژوهش مشابهی را مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای در حضور داده‌های نادقیق و فازی انجام داد.

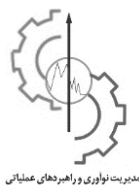
منابع

- Abbaszadeh Tavassoli, S., Avakh Darestani, S., & Abbaszadeh Tavassoli, M. (2017). Green supplier evaluation and selection using TOPSIS & DEMATEL (case study: Fulad Gilan company). *Factually of humanities*, 12(39), 15-28. (In Persian). URL: http://imj.iausdj.ac.ir/article_536674.html
- Amirteimoori, A., & Khoshandam, L. (2011). A data envelopment analysis approach to supply chain efficiency. *Advances in decision sciences*, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2011/608324>
- Amirteimoori, A., Kordrostami, S., & Sarparast, M. (2006). Modeling undesirable factors in data envelopment analysis. *Applied mathematics and computation*, 180(2), 444-452.
- Azadi, M., Jafarian, M., Saen, R. F., & Mirhedayatian, S. M. (2015). A new fuzzy DEA model for evaluation of efficiency and effectiveness of suppliers in sustainable supply chain management context. *Computers & operations research*, 54, 274-285.
- Azizi, H. (2011). The interval efficiency based on the optimistic and pessimistic points of view. *Applied mathematical modelling*, 35(5), 2384-2393.
- Azizi, H. (2012). A new approach for supplier selection in the presence of imprecise data: DEA with double frontiers. *Management research in Iran*, 16(2), 129-150. (In Persian). URL: <http://mri.modares.ac.ir/article-19-8553-fa.html>
- Azizi, H. (2012). Efficiency assessment in data envelopment analysis using efficient and inefficient frontiers. *IJBQ*, 16(3), 153-173. (In Persian). URL: <http://mri.modares.ac.ir/article-19-118-fa.html>
- Azizi, H., & Ajirlu, H. G. (2011). Measurement of the worst practice of decision-making units in the presence of non-discretionary factors and imprecise data. *Applied mathematical modelling*, 35(9), 4149-4156.
- Azizi, H., & Ajirlu, S. F. (2010). Measurement of overall performances of decision-making units using ideal and anti-ideal decision-making units. *Computers & industrial engineering*, 59(3), 411-418.
- Azizi, H., & Jahed, R. (2015). Supplier selection in volume discount environments in the presence of both cardinal and ordinal data: a new approach based on double frontiers DEA. *IJBQ*, 19(3), 191-217. URL: <http://mri.modares.ac.ir/article-19-6010-fa.html>
- Azizi, H., Amirteimoori, A., & Kordrostami, S. (2016). A data envelopment analysis approach with efficient and inefficient frontiers for supplier selection in the presence of both undesirable outputs and imprecise data. *Modern research in decision making*, 1(2), 139-170. (In Persian). URL: http://journal.saim.ir/article_21122.html?lang=en
- Barbarosoglu, G., & Yazgac, T. (1997). An application of the analytic hierarchy process to the supplier selection problem. *Production and inventory management journal*, 38(1), 14-21.
- Ben-Israel, A., & Robers, P. D. (1970). A decomposition method for interval linear programming. *Management science*, 16(5), 374-387.



- Cecchini, L., Venanzi, S., Pierri, A., & Chiorri, M. (2018). Environmental efficiency analysis and estimation of CO₂ abatement costs in dairy cattle farms in Umbria (Italy): a SBM-DEA model with undesirable output. *Journal of cleaner production*, 197, 895-907.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.
- Chinneck, J. W., & Ramadan, K. (2000). Linear programming with interval coefficients. *Journal of the operational research society*, 51(2), 209-220.
- Färe, R., & Grosskopf, S. (2000). Network DEA. *Socio economics planning science*, 4(1), 35-49.
- Fallahpour, A., Olugu, E. U., Musa, S. N., Wong, K. Y., & Noori, S. (2017). A decision support model for sustainable supplier selection in sustainable supply chain management. *Computers & industrial engineering*, 105, 391-410.
- Fathi, A., & Saen, R. F. (2018). A novel bidirectional network data envelopment analysis model for evaluating sustainability of distributive supply chains of transport companies. *Journal of cleaner production*, 184, 696-708.
- Fazeli Farsani, M., Ziglari, F., & Asadi, Sh. (2015). Scruting the performance of commodity suppliers and contractors, supply chain gas company province Charmahal and Bakhtiari by methodology DEA. *Journal of strategic management research*, 21(58), 101-116. (In Persian). URL: http://smr.journals.iau.ir/article_525539.html
- Ghaemi Nasab, F., & Mamizadeh Chatghayeh, S. (2013). Supplier selection using a DEA-Topsis method. *International journal of data envelopment analysis*, 1(1), 33-42. (In Persian). URL: <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=357182>
- Ghazanfari, M., & Riazi, A. (2003). Designing a hierarchical decision making procedure to evaluation: select and develop supplier in SCM. *International journal of industrial engineering and production management (IJIE)*, 14(4), 211-227. (In Persian). URL: <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=2898>
- Hladík, M. (2009). Optimal value range in interval linear programming. *Fuzzy optimization and decision making*, 8(3), 283-294.
- Hladík, M. (2010). Generalized linear fractional programming under interval uncertainty. *European journal of operational research*, 205(1), 42-46.
- Hladík, M. (2010). On necessarily efficient solutions in interval multi-objective linear programming. In *proceedings of the 25th mini-EURO conference on uncertainty and robustness in planning and decision making* (pp. 1-10).
- Hladík, M. (2012). Complexity of necessary efficiency in interval linear programming and multi-objective linear programming. *Optimization letters*, 6(5), 893-899.
- Hosseinzadeh, A. A., Alahviranloo, T., Hosseinzadeh Loti, F., & Vaez-Ghasemi, M. (2018). Solving fully interval linear programming problems. (In press).
- Huang, G., & Dan Moore, R. (1993). Grey linear programming, its solving approach, and its application. *International journal of systems science*, 24(1), 159-172.
- Ida, M. (1999). Necessary efficient test in interval multi-objective linear programming. In *proceedings of the eighth international fuzzy systems association world congress* (pp. 500-504).
- Inuiguchi, M., & Sakawa, M. (1995). Minimax regret solution to linear programming problems with an interval objective function. *European journal of operational research*, 86(3), 526-536.
- Izadikhah, M., & Saen, R. F. (2018). Assessing sustainability of supply chains by chance-constrained two-stage DEA model in the presence of undesirable factors. *Computers & operations research*, 100, 343-367.
- Izadikhah, M., Tavana, M., Di Caprio, D., & Santos-Arteaga, F. J. (2018). A novel two-stage DEA production model with freely distributed initial inputs and shared intermediate outputs. *Expert systems with applications*, 99, 213-230.
- Jafarnezhad, A., & Esmaelian, M. (2008). Evaluation and selection of supplier in supply chain in case of single sourcing with fuzzy approach. *Human sciences modares*, 12(4), 127. (In Persian). URL: <https://www.magiran.com/paper/711900>
- Jahanshahloo, G. R., Vencch, A. H., Foroughi, A. A., & Matin, R. K. (2004). Inputs/outputs estimation in DEA when some factors are undesirable. *Applied mathematics and computation*, 156(1), 19-32.
- Jauhar, S. K., & Pant, M. (2017). Integrating DEA with DE and MODE for sustainable supplier selection. *Journal of computational science*, 21, 299-306.
- Javadnia, A., & Gholam-abri, A. (2013). Evaluating the production materials suppliers of Saipa industrial group by using data envelopment analysis (DEA). *Journal of industrial strategic management (pajouheshgar)*, 10(31), 43-52. (In Persian). URL: <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=386169>
- Kahraman, C., Cebeci, U. & Ulukan, Z. (2003). Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. *Logistics information management*, 16(6), 382-394.
- Khalilzade, M., & Katebi, M. (2015). Evaluation and selection of supply chain suppliers with a combined approach of ANP, QFD and fuzzy SIR. *The second international conference on management in the 21st century, Tehran*. URL: https://www.civilica.com/Paper-ICMNG02-ICMNG02_009.html
- Khodakarami, M., Shabani, A., Saen, R. F., & Azadi, M. (2015). Developing distinctive two-stage data envelopment analysis models: an application in evaluating the sustainability of supply chain management. *Measurement*, 70, 62-74.
- Kordrostami, S., & Amirteimoori, A. (2005). Un-desirable factors in multi-component performance measurement. *Applied mathematics and computation*, 171(2), 721-729.

- Korhonen, P. J., & Luptacik, M. (2004). Eco-efficiency analysis of power plants: an extension of data envelopment analysis. *European journal of operational research*, 154(2), 437-446.
- Kumar, A., Jain, V., & Kumar, S. (2014). A comprehensive environment friendly approach for supplier selection. *Omega*, 42(1), 109-123.
- Lee, E. K., Ha, S., & Kim, S. K. (2001). Supplier selection and management system considering relationships in supply chain management. *IEEE transactions on engineering management*, 48(3), 307-318.
- Liu, W., Zhou, Z., Ma, C., Liu, D., & Shen, W. (2015). Two-stage DEA models with undesirable input-intermediate-outputs. *Omega*, 56, 74-87.
- Lodwick, W. A., & Jamison, K. D. (2003). Special issue: interfaces between fuzzy set theory and interval analysis. *Fuzzy sets and systems*, 135(1), 1-3.
- Maghbooli, M., Amirteimoori, A., & Kordrostami, S. (2014). Two-stage network structures with undesirable outputs: A DEA based approach. *Measurement*, 48, 109-118.
- Narasimhan, R. (1983). An analytical approach to supplier selection. *Journal of purchasing and supply management*, 19(4), 27-32.
- Narasimhan, R., Talluri, S., & Mendez, D. (2001). Supplier evaluation and rationalization via data envelopment analysis: an empirical examination. *Journal of supply chain management*, 37(2), 28-37.
- Noorizadeh, A., Mahdiloo, M., & Farzipoor Saen, R. (2013). Evaluating relative value of customers via data envelopment analysis. *Journal of business & industrial marketing*, 28(7), 577-588.
- Nydick, R. L., & Hill, R. P. (1992). Using the analytic hierarchy process to structure the supplier selection procedure. *International journal of purchasing and materials management*, 28(2), 31-36.
- Oliveira, C., & Antunes, C. H. (2007). Multiple objective linear programming models with interval coefficients—an illustrated overview. *European journal of operational research*, 181(3), 1434-1463.
- Oliveira, C., & Antunes, C. H. (2009). An interactive method of tackling uncertainty in interval multiple objective linear programming. *Journal of mathematical sciences*, 161(6), 854-866.
- Önüt, S., Gülsün, B., Tuzkaya, U. R., & Tuzkaya, G. (2008). A two-phase possibilistic linear programming methodology for multi-objective supplier evaluation and order allocation problems. *Information sciences*, 178(2), 485-500.
- Rashidi, K., & Cullinane, K. (2019). A comparison of fuzzy DEA and fuzzy TOPSIS in sustainable supplier selection: implications for sourcing strategy. *Expert systems with applications*, 121, 266-281.
- Rashidi, K., Shabani, A., & Saen, R. F. (2015). Using data envelopment analysis for estimating energy saving and undesirable output abatement: a case study in the organization for economic Co-operation and development (OECD) countries. *Journal of cleaner production*, 105, 241-252.
- Razavyan, Sh., & Tohidi, M. (2010). DMUs with network structure and imprecise data. *Journal of sciences (Islamic Azad university)*, 19(74/2), 53-60. (In Persian). URL: <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=273408>
- Rommelfanger, H., Hanuscheck, R., & Wolf, J. (1989). Linear programming with fuzzy objectives. *Fuzzy sets and systems*, 29(1), 31-48.
- Saen, R. F. (2010). A decision model for selecting appropriate suppliers. *International journal of advanced operations management*, 2(1-2), 46-56.
- Saen, R. F. (2010). Developing a new data envelopment analysis methodology for supplier selection in the presence of both undesirable outputs and imprecise data. *The international journal of advanced manufacturing technology*, 51(9-12), 1243-1250.
- Safaei Ghadikolaei, A., Madhoshi, M., & Jamalain, A. (2017). Explanation of affecting factors in sustainable suppliers' selection in Saipa Company. *Iranian journal of supply chain management*, 19(55), 32-48. (In Persian). URL: https://scmj.ihu.ac.ir/article_203617.html?lang=fa
- Salehi, M., & Sayyah, M. (2017). Evaluation and selection of efficient suppliers in terms of uncertainty -the grey data envelopment analysis approach. *Iranian journal of trade studies*, 21(81), 181-203. (In Persian). URL: http://pajooreshnameh.itsr.ir/article_24527.html?lang=en
- Sengupta, A., & Pal, T. K. (2000). On comparing interval numbers. *European journal of operational research*, 127(1), 28-43.
- Sengupta, A., Pal, T. K., & Chakraborty, D. (2001). Interpretation of inequality constraints involving interval coefficients and a solution to interval linear programming. *Fuzzy sets and systems*, 119(1), 129-138.
- Shabanpour, H., Yousefi, S., & Saen, R. F. (2017). Future planning for benchmarking and ranking sustainable suppliers using goal programming and robust double frontiers DEA. *Transportation research part D: transport and environment*, 50, 129-143.
- Shafiei Nikabadi, M., Yakideh, K., & Oveysi Omran, A. (2017). An integrated approach of DEA with a variety of outputs and windows analysis for evaluating efficiency of the power industry. *Journal of industrial management perspective*, 6(4), 157-180. (In Persian). URL: http://jimp.sbu.ac.ir/article_87218.html?lang=en
- Shahrodi, K., & Tadriss-hasani, M. (2011). A mathematical model to select suppliers through data envelopment analysis integrated and total cost of ownership approaches (case study: value chain in Iran automotive industry). *Journal of operational research and its applications*, 8(3), 71-81. (In Persian). URL: <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=164791>
- Shaocheng, T. (1994). Interval number and fuzzy number linear programming. *Fuzzy sets and systems*, 66(3), 301-306.



- Shin, H., Collier, D. A., & Wilson, D. D. (2000). Supply management orientation and supplier/buyer performance. *Journal of operations management*, 18(3), 317-333.
- Soyster, A. L. (1974). A duality theory for convex programming with set-inclusive constraints. *Operations research*, 22(4), 892-898.
- Sueyoshi, T., & Goto, M. (2010). Should the US clean air act include CO2 emission control: examination by data envelopment analysis. *Energy policy*, 38(10), 5902-5911.
- Thuente, D. J. (1980). Duality theory for generalized linear programs with computational methods. *Operations research*, 28(4), 1005-1011.

